

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 1 月 9 日 (09.01.2003)

PCT

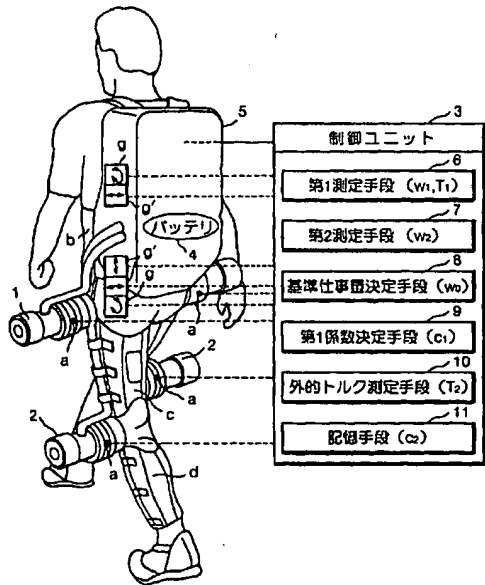
(10) 国際公開番号  
WO 03/002054 A1

- (51) 国際特許分類: A61H 3/00, A61F 2/60 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒107-8556 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/06468
- (22) 国際出願日: 2002 年 6 月 27 日 (27.06.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
60/300,815 2001 年 6 月 27 日 (27.06.2001) US  
特願2001-200416 2001 年 7 月 2 日 (02.07.2001) JP  
特願2001-236336 2001 年 8 月 3 日 (03.08.2001) JP
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 池内 康 (IKEUCHI, Yasushi) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 加藤 久 (KATO, Hisashi) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 平田 崇 (HIRATA, Takashi) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).

[続葉有]

(54) Title: TORQUE IMPARTING SYSTEM

(54) 発明の名称: トルク付与システム



- 3...CONTROL UNIT  
4...BATTERY  
6...FIRST MEASURING MEANS  
7...SECOND MEASURING MEANS  
8...REFERENCE WORK VOLUME DETERMINING MEANS  
9...FIRST COEFFICIENT DETERMINING MEANS  
10...EXTERNAL TORQUE MEASURING MEANS  
11...MEMORY MEANS

(57) Abstract: Through the construction of a system capable of suitably assisting the motion of a connected body connected through joints, such as a leg of a walker, according to the various motional conditions of the connected body, a system is provided that is capable of imparting a suitable torque to the connected body according to the motional situation of the connected body at the time of various turns including the bending of the joints. The torque imparting system comprises a first measuring means (6), a second measuring means (7), a reference work volume determining means (8), and an external torque determining means (10). The first measuring means (6) measures the internal work volume ( $w_1$ ) of the around-joint leg (the connected body). The second measuring means (7) measures an external work volume ( $w_2$ ) around a joint imparted to the leg. The reference work volume determining means (8) determines a reference work volume ( $w_0$ ) on the basis of the internal work volume ( $w_1$ ) of the leg measured by the first measuring means (6). The external torque determining means (10) determines an external torque ( $T_2$ ) imparted to the leg in such a manner as to reduce the difference between the internal work volume ( $w_1$ ) of the leg measured by the first measuring means (6) and the reference work volume ( $w_0$ ) determined by the reference work volume determining means (8), on the basis of the external work volume ( $w_2$ ) measured by the second measuring means (7).

[続葉有]

WO 03/002054 A1



(74) 代理人: 佐藤 辰彦, 外(SATO,Tatsuhiko et al.); 〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-1-1 新宿メインズタワー16階 Tokyo (JP).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

歩行者の脚部等、関節を介して連結された連結体の多様な運動条件に応じて適切に当該連結体の運動を補助し得るシステムの構築を通じて、関節の折り曲げ等を含む種々の回動に際し、連結体の運動状況に応じた適切なトルクを連結体に付与し得るシステムを提供する。本発明のトルク付与システムは第1測定手段(6)と、第2測定手段(7)と、基準仕事量決定手段(8)と、外的トルク決定手段(10)とを備えている。第1測定手段(6)は、関節回りの脚部(連結体)の内的仕事量( $w_1$ )を測定する。第2測定手段(7)は、脚部に付与される関節回りの外的仕事量( $w_2$ )を測定する。基準仕事量決定手段(8)は、第1測定手段(6)により測定される脚部の内的仕事量( $w_1$ )に基づいて基準仕事量( $w_0$ )を決定する。外的トルク決定手段(10)は、第2測定手段(7)により測定される外的仕事量( $w_2$ )に基づき、第1測定手段(6)により測定される脚部の内的仕事量( $w_1$ )と、基準仕事量決定手段(8)により決定される基準仕事量( $w_0$ )との偏差を減少するように脚部へ付与される外的トルク( $T_2$ )を決定する。

## 明 細 書

## トルク付与システム

## 技術分野

本発明は、関節を介して相対的に回動可能に連結された連結体に対して関節回りの外的トルクを付与するシステム、より具体的には歩行者の脚部に対して足関節、膝関節又は股関節回りの外的トルクを付与するシステムに関する。

## 背景技術

脚力の低下のため自力での歩行が困難となった者の歩行を補助するシステムが特開平 7 - 1 6 3 6 0 7 号公報や特開 2 0 0 0 - 1 6 6 9 9 7 号公報等において提案されている。かかるシステムによれば、患者の膝関節部分等にトルク付与装置が取り付けられ、当該装置によって膝等にトルクが付与されることで、歩行者の歩行が補助される。

しかし、従来のシステムによれば、階段、平地等の歩行条件は大まかに識別されていたに過ぎず、段差が不規則な階段や傾斜の相違する坂道等、多様な歩行条件が識別された上でトルクが付与されていなかった。このため、付与されるトルクが過剰になってしまうおそれがある。

そこで、本発明は歩行者の脚体、一般的には関節を介して連結された連結体の多様な運動条件に応じて適切に当該連結体の運動を補助し得るシステムの構築を通じ、関節の折り曲げ等を含む種々の回動に際し、連結体の運動状況に応じた適切なトルクを連結体に付与し得るシステムを提供することを解決課題とする。

### 発明の開示

前記課題を解決するための本発明のトルク付与システムは、連結体から生じる関節回りの内的仕事を測定する第1測定手段と、連結体が付与される関節回りの外的仕事を測定する第2測定手段と、第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、第2測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように連結体へ付与される外的トルクを決定する外的トルク決定手段と、外的トルク決定手段により決定された外的トルクを連結体が付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とする。

本発明によれば、連結体の関節回りの内的仕事量が基準仕事量に一致するように、連結体に対して関節回りの外的トルクが付与される。従って、連結体の運動条件が変動し、当該運動に要する連結体の仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分が補助される形で連結体に外的トルクが付与される。そして、運動条件変動に関わらず、連結体における基準仕事量に対応する内的トルクの発揮によって運動を可能とすることができる。

また、連結体が付与される外的トルクは、連結体が付与される外的仕事量に基づいて決定され、当該決定の基準となる基準仕事量は連結体の内的仕事量に基づいて決定される。従って、連結体の内的仕事量と外的仕事量とのバランスに応じた適切な外的トルクを連結体が付与することができる。なお、本システムにより付与される外的トルクには、運動方向をx軸、鉛直方向をz軸として、xy平面、yz平面、zx平面の全ての平面内の外的トルク、即ち、3次元空間内のあらゆる方向への外的トルクが包含されている。

また、本発明のトルク付与システムは、前記連結体が股関節、膝関節及び足関節を含む歩行者の脚体であることを特徴とする。

本発明によれば、歩行者の脚体の膝関節の折り曲げ等の様々な歩行条件に応じ、歩行状況に応じた適切なトルクを付与することで当該歩行を適切に補助することが可能となる。

さらに本発明のトルク付与システムは、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差が0となる場合の連結体の内的仕事量に対する連結体に付与される外的仕事量の比を目標値とし、時間を追って該目標値に収束するよう第1係数を逐次決定する第1係数決定手段を備え、第1測定手段が連結体の関節回りの内的トルクを測定し、外的トルク決定手段が第1測定手段により測定される連結体の内的トルクと、第1係数決定手段により決定される第1係数との積を演算し、該演算結果を連結体に付与される外的トルクとして決定することを特徴とする。

本発明によれば、運動条件の変動により連結体の内的仕事量が基準仕事量を超過した場合、この超過分を解消すべく、第1係数、ひいては連結体に付与される外的トルクが逐次決定される。また、第1係数がその目標値に収束したとき、第1係数に基づき決定される外的トルクが連結体に付与されることで、連結体の基準仕事量に対応する内的トルクの発揮による運動を可能とすることができる。

さらに、第1係数のその目標値への収束速度を大きくすることで、運動条件の変動により当該運動に要する仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分を迅速に解消するように外的トルクを連結体に付与することができる。一方、第1係数のその目標値への収束速度を小さくすることで、運動条件の変動により当該運動に要する仕事量が基準仕事量を超過した場合、当該超過分を時間的にゆるやかに解消するように外的トルクを連結体に付与することができる。

また、本発明のトルク付与システムは、第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量又は第2測定手段により測定される外的仕事量に基づいて第1係数の上限又は下限を決定することを特徴とする。

本発明によれば、第1係数に上限又は下限が設定されることで、連結体に付与される外的トルクが過大又は過少となる事態が回避される。従って、連結体が歩行者の脚体である場合、当該歩行者はより快適に歩行することが可能である。また、第1係数の上限又は下限は、連結体の運動状況に応じて変動する内的仕事量又は外的仕事量に基づいて決定されるので、当該運動状況に応じて適切に外的トルクを制限することができる。

さらに本発明のトルク付与システムは、第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以下のとき、第1係数の下限を0と決定することを特徴とする。

上述のように連結体の内的仕事量と基準仕事量とが一致するように第1係数の目標値が決定される。従って、連結体の合計仕事量が減少して基準仕事量を下回った場合、連結体の内的トルクひいては内的仕事量を増大させて基準トルクに一致させるべく、第1係数が負に決定され、連結体には運動の抵抗となる負の外的トルクが付与され得る。

本発明によれば、このような場合、第1係数の下限が0と決定され、第1係数と内的トルクとの積として決定される外的トルクが0となるので、連結体に負の外的トルクが付与される事態を防止することができる。

また、本発明のトルク付与システムは、第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外

的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以上の所定量以上のとき、第1係数の上限を決定することを特徴とする。

連結体の合計仕事量が増大して基準仕事量を大きく上回った場合、連結体の内的トルクひいては内的仕事量を減少させて基準仕事量に一致させるべく、第1係数が過大に決定され、連結体に過大な外的トルクが付与され得る。

本発明によれば、このような場合、第1係数の上限が決定されるので、第1係数と内的トルクとの積として決定される外的トルクに上限が設けられ、連結体に過大な外的トルクが付与される事態を防止することができる。

さらに本発明のトルク付与システムは、第1測定手段が連結体の関節回りの内的トルク及び角速度の積を測定し、第1係数決定手段は第1測定手段により測定された積の区分に応じて第1係数を区分して決定し、外的トルク決定手段が第1測定手段により測定された積の区分が先に第1測定手段により測定された過去の積の区分に一致するとき、第1係数決定手段によって該過去の積の区分に応じた内的仕事量に基づいて先に決定された第1係数を用いて外的トルクを決定することを特徴とする。

また、本発明のトルク付与システムは、第1係数決定手段が第1測定手段により測定された連結体の関節回りの内的トルク及び角速度の積の正負に応じて第1係数を区分して決定することを特徴とする。

さらに本発明のトルク付与システムは、基準仕事量決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量の和である合計仕事量を演算し、合計仕事量と第1測定手段により測定される無負荷状態における連結体の内的仕事量との差と、連結体の内的仕事量と基準仕事量との偏差を0とする外的トルクに関する

第2係数との積を演算し、合計仕事量と該積との差を演算し、該演算結果を基準仕事量として決定することを特徴とする。

本発明によれば、運動に際して必要な合計仕事量の基準仕事量に対する変動分のうち、どれだけを外的トルクにより補償するかが第2係数の大小によって決定される。即ち、第2係数が大きく設定されることで、当該変動分のうち外的トルクにより補償される分の割合を大きくすることができる。一方、第2係数が小さく設定されることで、当該変動分のうち外的トルクにより補償される分の割合を小さくすることができる。なお「無負荷状態における連結体の内的仕事量」には、外部から負荷が加わっていない状態で連結体が運動する際の内的仕事量のほか、外部から負荷が加わっている状態で連結値が運動する際の内的仕事量であって、当該負荷が加わっていない状態での内的仕事量と擬制され得るように当該負荷を考慮に入れて補正される内的仕事量も含まれる。

また、本発明のトルク付与システムは、第1及び第2測定手段が連結体の運動周期を積分時間とすることでそれぞれ内的及び外的仕事量を測定することを特徴とする。

本発明によれば、連結体の直前の運動周期における内的仕事量、外的仕事量に基づいて次の運動周期において連結体に付与される外的トルクを決定することができる。また、連結体が歩行者の脚体の場合、右又は左の足平が離床してから接地し、且つ、左又は右の足平が離床してから接地するまでの内的仕事量、外的仕事量に基づいて次回の左右の脚体に付与される外的トルクを決定することができる。

さらに本発明のトルク付与システムは、第1測定手段が連結体の一の関節に働く反力を測定し、測定した反力に基づき逆動力学モデルに従って連結体の各関節回りの内的トルクと外的トルクとの合計トルクを測定し、測定した合計トルクから第2測定手段により測定される外的トルク

との差を演算することで連結体の各関節回りの内的トルクを測定することを特徴とする。

詳細は後述するが逆動力学モデルによれば、連結体が関節を介して回動可能に順次連結された複数の剛体棒と仮定され、一の剛体棒の一の関節回りのトルク及び一の関節の反力に基づいて当該一の剛体の他の関節回りのトルク及び他の関節の反力が決定される。従って、本発明によれば、連結体の端部における反力に基づき当該端部にある関節回りのトルク及び関節の反力が測定されることで、他の関節のトルクを順次測定することができる。また、逆動力学モデルに従って測定されたトルクは内的トルク及び外的トルクの和なので、これから外的トルクを差し引くことで内的トルクを測定することができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は本実施形態のトルク付与システムとしての歩行補助装置の構成説明図であり、図2は歩行補助装置による歩行補助の概要説明図であり、図3は歩行補助装置の機能を説明するフローチャートであり、図4は歩行者の足平の床反力測定の概念説明図であり、図5は歩行者の関節周りのトルク測定の概念説明図であり、図6は歩行補助装置による歩行補助の実験結果の説明図であり、図7及び図8は歩行補助装置による歩行補助のシミュレーション結果の説明図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明のトルク付与システムの実施形態について図面を用いて説明する。

図1に示すトルク付与システムは、歩行者の腰部に取り付けられて股関節回りの外的トルクを付与する第1アクチュエータ（外的トルク付与

手段) 1 と、歩行者の膝部に取り付けられて膝関節回りの外的トルクを付与する第 2 アクチュエータ 2 (同) と、各アクチュエータ 1、2 の作動等を制御する制御ユニット 3 と、各アクチュエータ 1、2 に電力を供給する  $Ni-Zn$  バッテリ等のバッテリ 4 とを備えている。制御ユニット 3 及びバッテリ 4 は歩行者の背中に担がれるバックパック 5 の中に格納されている。第 1 アクチュエータ 1 は歩行者に取り付けられた腹帯  $b$  と、大腿部当て  $c$  とを介して股関節回りの外的トルクを付与する。第 2 アクチュエータ 2 は歩行者に取り付けられた大腿部当て  $c$  と脛部当て  $d$  とを介して膝関節回りの外的トルクを付与する。なお、歩行者の腰部、大腿部、脛部は本発明の「連結体」に相当する。

また、本歩行補助装置は、歩行者の背後に取り付けられ、上半身の鉛直方向に対する角速度を測定するジャイロセンサ  $g$  と、水平方向の加速度を測定する  $G$  センサ  $g'$  とを備えている。さらに、歩行者の腰部に取り付けられ、腰部の鉛直方向に対する角速度を測定するジャイロセンサ  $g$  と、水平方向、鉛直方向の加速度を測定する  $G$  センサ  $g'$  とを備えている。また、歩行者の腰部に取り付けられて腰部に対する左右の大腿部の股関節回りの回転角を測定し、膝部に取り付けられて大腿部に対する脛部の回転角を測定する角度センサ  $a$  を備えている。

制御ユニット 3 は、第 1 測定手段 6 と、第 2 測定手段 7 と、基準仕事量決定手段 8 と、第 1 係数決定手段 9 と、外的トルク決定手段 10 と、記憶手段 11 とを備えている。制御ユニット 3 は、後述の諸機能を発揮可能となりように CPU、信号入出力回路、メモリ等が組み合わせられることで構成されている。

第 1 測定手段 6 は各センサ  $g$ 、 $g'$ 、 $a$  の測定値に基づいて膝関節、股関節回りの脚体の内的トルク  $T_1$  と、内的トルク  $T_1$  と内的角速度  $\omega_1$  との積の絶対値の時間積分である内的仕事量  $w_1$  とを測定する。第 2 測

定手段 7 は各アクチュエータ 1、2 のトルク値や角度センサ a の測定値に基づき膝関節、股関節回りの外的トルク  $T_2$  と外的角速度  $\omega_2$  との積の絶対値の時間積分である外的仕事量  $w_2$  を測定する。基準仕事量決定手段 8 は第 1 測定手段 6 により測定される脚体の内的仕事量  $w_1$  に基づいて基準仕事量  $w_0$  を決定する。第 1 係数決定手段 9 は基準仕事量決定手段 8 により決定される基準仕事量  $w_0$  との偏差が 0 となる場合の内的仕事量  $w_1$  に対する外的仕事量  $w_2$  の比を目標値  $c_{TG}$  とし、内的仕事量  $w_1$  に対する外的仕事量  $w_2$  の比を第 1 係数  $c_1$  とし、時間を追ってこの目標値に収束するよう第 1 係数  $c_1$  を逐次決定する。外的トルク決定手段 10 は第 1 測定手段 6 により測定される内的トルク  $T_1$  と、第 1 係数決定手段 9 により決定される第 1 係数  $c_1$  との積を演算し、アクチュエータ 1、2 を通じて股関節、膝関節回りに付与される外的トルク  $T_2$  を決定する。記憶手段 11 は ROM 等の不揮発性メモリや、RAM 等の揮発性メモリ等により構成され、後述のように基準仕事量  $w_0$  の決定に用いられる第 2 係数  $c_2$  や、歩行者の左右の足平への床反力等の測定に用いられるデータテーブル等を記憶する。

上記構成の歩行補助装置の機能について図 2 ～ 図 8 を用いて説明する。

まず、第 2 アクチュエータ 2 から歩行者の脚体に対して付与される膝関節回りの外的トルクの概要について図 2 を用いて説明する。歩行者が無負荷状態で平地を歩行するときの膝関節回りの内的仕事量  $w_1$  が黒塗部分で表されている。なお「無負荷状態での内的仕事量  $w_1$ 」には、歩行者が歩行補助装置を装着していない状態で三次元動作解析装置等により測定される内的仕事量のほか、歩行者が歩行補助装置を装着した状態で上記角度センサ a 等により測定される内的仕事量が、当該装置の重量やフリクションを考慮して減少補正されることで決定される内的仕事量も含まれる。

歩行者が階段を上り始めたとき、膝関節回りの内的仕事量 $w_1$ が、平地歩行時よりも $\Delta w$ （図2①の斜線部分参照）だけ超過したとする。この超過は歩行者が階段を上るとき、平地歩行時よりも脚体を大きく動かす必要があることに起因している。従って、筋力低下等のために平地歩行はできても階段歩行がままならない歩行者は階段を上ることが困難となる。

そこで、歩行者の階段歩行を補助すべく脚体に外的トルク $T_2$ が付与される。外的トルク $T_2$ は、後述のように基準仕事量 $w_0$ が決定された上で、内的仕事量 $w_1$ がこの基準仕事量 $w_0$ に収束するように内的トルク $T_1$ に基づいて逐次決定される。これにより歩行者が階段を上につれ、図2①から②、②から③、③から④に移行するごとに外的仕事量 $w_2$ （図2②～④の白塗部分参照）が徐々に増大し、その分だけ内的仕事量 $w_1$ が徐々に減少して基準仕事量 $w_0$ に収束する。このため、膝関節回りに内的トルクを生じるために必要な歩行者の筋力負担が、階段を上るにつれて軽減されていく。これ以後、歩行者は基準仕事量 $w_0$ に対応する内的トルク $T_1$ の発揮により登り階段歩行を継続することができる。

次に、第1、第2アクチュエータ1、2から脚体に対して付与される股関節、膝関節回りの外的トルク $T_2$ を決定する手順の詳細について図3～図6を用いて説明する。なお、歩行者の $i$ 番目（ $i = 1, 2, \dots$ ）の歩行周期（以下「第 $i$ 周期」という。）における物理量に適宜添字 $i$ を付する。

まず、膝関節及び股関節回りの内的トルク $T_{1(i)}$ 及び角速度 $\omega_{1(i)}$ が測定される（図3 s 1）。内的トルク $T_{1(i)}$ の測定方法について図4及び図5を用いて説明する。

歩行者の左右の脚体への床反力が図4に示すモデルを用いて測定される。図4に示す質量 $m$ の歩行者の左右の脚体にはそれぞれ床反力（ $F_{Lx}$ 、

$F_{Ly}$ ), ( $F_{Rx}$ ,  $F_{Ry}$ ) が作用している。また、歩行者の身体重心座標、左足関節座標及び右足関節座標はそれぞれ ( $x_G$ ,  $y_G$ ), ( $x_L$ ,  $y_L$ ), ( $x_R$ ,  $y_R$ ) である。このモデルにおける力のバランスや方向を考慮すると次の関係式 (1 a) ~ (1 d) が得られる。

$$F_{Ry} + F_{Ly} = m (g + y_G'') \quad (g : \text{重力加速度}) \cdots (1 a)$$

$$F_{Rx} + F_{Lx} = m x_G'' \cdots (1 b)$$

$$(y_G - y_R) / (x_G - x_R) = F_{Ry} / F_{Rx} \cdots (1 c)$$

$$(y_G - y_L) / (x_G - x_L) = F_{Ly} / F_{Lx} \cdots (1 d)$$

歩行者の質量  $m$  は事前に測定され、また、身体重心座標 ( $x_G$ ,  $y_G$ )、左右の足関節座標 ( $x_L$ ,  $y_L$ ), ( $x_R$ ,  $y_R$ )、身体重心座標の加速度 ( $x_G''$ ,  $y_G''$ ) は歩行者の事前の身体測定、及び歩行者の腰部等に取り付けられたジャイロセンサ  $g$  や  $G$  センサ  $g'$ 、股関節及び膝関節に取り付けられた角度センサ  $a$  の測定値に基づいて測定される。詳細には、左右の足関節座標 ( $x_L$ ,  $y_L$ ), ( $x_R$ ,  $y_R$ ) 等は、記憶手段 11 に記憶されている股関節や膝関節の角度、大腿部や脛部の長さ等との対応関係を特定するデータテーブルに基づいて測定される。そして、これらの測定値が上の関係式に代入されることで第 1 測定手段 6 により床反力 ( $F_{Lx}$ ,  $F_{Ly}$ ), ( $F_{Rx}$ ,  $F_{Ry}$ ) が測定される。

次に、測定された床反力に基づき、図 5 に示すモデルを用い、逆動力学モデルに従って膝関節、股関節回りの合計トルクが測定される。図 5 に示すように足関節に床反力 ( $F_{ax}$ ,  $F_{ay}$ ) が作用し、膝関節に反力 ( $F_{bx}$ ,  $F_{by}$ ) が作用し、質量  $m$  の脛部の重心には加速度に伴う力 ( $m x''$ ,  $m (y'' + g)$ ) が作用しているとする。また、足関節、膝関節回りのトルクがそれぞれ  $T_a$ 、 $T_b$  であり、脛部と床とのなす角を  $\theta$ 、脛部の慣性モーメントを  $I$ 、足関節、膝関節から脛部の重心までの距離がそれぞれ  $a$ 、 $b$  とする。このモデルにおいて力やトルクのバランスを考

慮すると、次の関係式 (2 a) ~ (2 c) が得られる。

$$F_{ax} - F_{bx} - m x'' = 0 \cdots (2 a)$$

$$F_{ay} - F_{by} - m y'' - m g = 0 \cdots (2 b)$$

$$I \theta'' = T_a - T_b + F_{ax} a \sin \theta - F_{ay} a \cos \theta \\ + F_{bx} b \sin \theta - F_{by} b \cos \theta \cdots (2 c)$$

床反力 ( $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ ) は上述の方法により測定される。また、脛部の重心位置の加速度 ( $x''$ 、 $y''$ )、脛部の床に対する角度  $\theta$ 、及び角加速度  $\theta''$  は歩行者の事前の身体測定や歩行者に取り付けられたジャイロセンサ  $g$ 、 $G$  センサ  $g'$ 、角度センサ  $a$  の測定値に基づいて測定される。さらに、脛部の慣性モーメント  $I$ 、足関節、膝関節から脛部の重心までの距離  $a$ 、 $b$  は歩行者の事前の身体測定に基づいて測定される。また、足関節回りのトルク  $T_a$  は、床反力 ( $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ ) に基づき記憶手段 11 に記憶されているデータテーブル従って第 1 測定手段 6 により測定される。そして、これらの測定値を上の関係式 (2 a) ~ (2 c) に代入することで膝関節回りのトルク  $T_b$  が測定される。同様に、上関係式 (2 a) ~ (2 c) を用いることで股関節回りのトルクも測定される。

以上のように測定された膝関節、股関節回りのトルクから、第 1、第 2 アクチュエータ 1、2 により付与されている外的トルク  $T_{2(i)}$  が差し引かれることで膝関節、股関節回りの内的トルク  $T_{1(i)}$  が測定される (図 3 s 1)。また、内的角速度  $\omega_{1(i)}$  及び外的角速度  $\omega_{2(i)}$  (両者は略一致すると考えられるので角速度  $\omega_{(i)}$  と共通して表す) も角度センサ  $a$  により測定される (図 3 s 1)。なお、各関節回りの外的トルク  $T_{2(i)}$  は第 1、第 2 アクチュエータ 1、2 のトルク値に基づいて第 2 測定手段により測定される。

次に、外的トルク  $T_{2(i)}$  が外的トルク付与手段 10 により決定され、第 1、第 2 アクチュエータ 1、2 を通じて歩行者の脚体に付与される

(図3 s 2)。外的トルク  $T_{2(i)}$  は第1測定手段6により逐次測定される内的トルク  $T_{1(i)}$  と、第1係数決定手段9により歩行周期ごとに決定される第1係数  $c_{1(i)}$  との積をもって決定される。即ち、第1係数  $c_{1(i)}$  は外的トルク  $T_{2(i)}$  を内的トルク  $T_{1(i)}$  の何%にするかを決定するものである。第1係数  $c_{1(i)}$  の決定方法については後述する。

続いて、制御ユニット3によって第*i*周期が経過したか否かが判断される(図3 s 3)。具体的には、第1制御手段6により測定される右足平の床反力が有限値から0になり、再び有限値になった後で0になったことが測定される周期が歩行周期の経過と判断される。

第*i*周期経過前(図3 s 3でNO)、歩行補助装置の作動が終了されない限り(図3 s 10でNO)、上記s 1～s 3の処理が繰り返される。

第*i*周期が経過したと判断されたとき(図3 s 3でYES)、第1測定手段6により、各関節回りの内的仕事量  $w_{1(i)}$  が次式(3)に従って測定される(図3 s 4)。即ち、内的仕事量  $w_{1(i)}$  が、各関節回りの内的トルク  $T_{1(i)}$  と、角速度  $\omega_{(i)}$  との積の絶対値が第*i*周期にわたり積分されることで測定される。

$$w_{1(i)} = \int dt \cdot |T_{1(i)} \times \omega_{(i)}| \cdots (3)$$

また、第2測定手段7により、各関節回りの外的仕事量  $w_{2(i)}$  が次式(4)に従って測定される(図3 s 5)。即ち、外的仕事量  $w_{2(i)}$  が、各関節回りの外的トルク  $T_{2(i)}$  と角速度  $\omega_{(i)}$  との積の絶対値が第*i*周期にわたり積分されることで測定される。

$$w_{2(i)} = \int dt \cdot |T_{2(i)} \times \omega_{(i)}| \cdots (4)$$

なお、各関節回りの内的トルク  $T_{1(i)}$ 、外的トルク  $T_{2(i)}$  及び角速度  $\omega_{(i)}$  は第*i*周期内においても時々刻々変動する時間関数としての物理量である。

さらに、基準仕事量決定手段8により第*i* + 1周期の基準仕事量  $w$

$w_{0(i+1)}$ が次式(5)に従って決定される(図3s6)。詳細にはまず、内的仕事量 $w_{1(i)}$ と外的仕事量 $w_{2(i)}$ との和である合計仕事量 $w_{1(i)} + w_{2(i)}$ が、予め測定された平地歩行時の内的仕事量 $w_{1(0)}$ に対してどれだけ変動したかが測定される。即ち、基準仕事量 $w_{0(i+1)}$ は、合計仕事量 $w_{1(i)} + w_{2(i)}$ から記憶手段11に記憶されている第2係数 $c_2$  ( $0 \leq c_2 \leq 1$ )と当該変動量 $\Delta w_i$ との積を差し引くことで決定される。第2係数 $c_2$ は、この変動量 $\Delta w_i$ のうち外的トルク $T_{2(i+1)}$ の付与により補償される割合を決定するものである。例えば、第2係数 $c_2$ が1.0に設定されていれば、変動量 $\Delta w_i$ の全てを補償するように、即ち、歩行状態の変動に関わらず平地歩行状態における内的仕事量 $w_{1(0)}$ によって歩行継続が可能となるように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される。また、第2係数 $c_2$ が0.5に設定されていれば、変動量 $\Delta w_i$ の半分を補償するように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される。なお、第2係数 $c_2$ は、操作パネル(図示略)等において設定・更新可能とされていてもよい。

$$w_{0(i+1)} = w_{1(i)} + w_{2(i)} - c_2 \Delta w_i \cdots (5)$$

また、第1係数決定手段9により第1係数の目標値 $c_{TG(i+1)}$ が次式(6)に従って決定される(図3s7)。

$$c_{TG(i+1)} = c_2 \Delta w_i / \{w_{1(0)} + (1 - c_2) \Delta w_i\} \cdots (6)$$

また、第1係数決定手段によって第1係数 $c_{1(i+1)}$ が記憶手段11に記憶されているゲイン係数 $G$  ( $0 < G \leq 1$ )を用いて次式(7)に従って決定される。ゲイン係数 $G$ はその大小により内的仕事量 $w_{1(i+1)}$ が基準仕事量 $w_{0(i+1)}$ に収束する速度を決定するものである。即ち、ゲイン係数 $G$ を大きくするほど内的仕事量 $w_{1(i)}$ が迅速に基準仕事量 $w_{0(i)}$ に収束するように外的トルク $T_{2(i)}$ が大きく決定される。なお、ゲイン係数 $G$ は、操作パネル(図示略)において設定・更新可能とされてもよい。

$$c_{1(i+1)} = w_{2(i)} / w_{1(i)} + G (c_{TG(i+1)} - w_{2(i)} / w_{1(i)}) \cdots (7)$$

歩行補助装置の作動が終了されなければ（図3 s 9でNO）、第*i*周期の第1係数 $c_{1(i)}$ が $c_{1(i+1)}$ に更新される（図3 s 11）。この上で、第*i* + 1周期について、第1測定手段6により内的トルク $T_{1(i+1)}$ が測定される（図3 s 1）。また、外的トルク決定手段10により上述のように外的トルク $T_{2(i+1)}$ が上述のように第1係数 $c_{1(i+1)}$ と、内的トルク $T_{1(i+1)}$ との積として次式（8）のように決定される（図3 s 2）。

$$T_{2(i+1)} = c_{1(i+1)} T_{1(i+1)} \cdots (8)$$

そして、外的トルク決定手段10により決定された外的トルク $T_{2(i+1)}$ が第1、第2アクチュエータを通じて歩行者の脚体に付与される（図3 s 2）。

次に、歩行者の膝関節に付与される外的トルク $T_2$ が歩行条件の変動に伴いどのように変動するかについて実験した結果を、図6を用いて説明する。図6には歩行者が平地で歩行を開始し、階段を上り、そして階段を下りた場合に第1係数 $c_1$ がどのように変動するかが示されている。上述のように第1係数 $c_1$ は内的トルク $T_1$ のうち何%を外的トルク $T_2$ として決定・付与するかを左右するので、その変動を通じて間接的に外的トルク $T_2$ の変動を把握することができる。なお、実験に際して第1係数 $c_1$ の上限が0.25に設定され、第2係数 $c_2$ が0.25に設定されている。

平地での歩行時、第1係数 $c_1$ は0からその上限0.25に達した後、徐々に減少して0に至っている（図中下向き矢印参照）。これは、平地での歩行開始直後は膝関節に大きな外的トルクが付与されて歩行者の歩行が補助され、その後、徐々に外的トルクが減少して歩行者が自力で歩行していることを示している。

また、階段を上るとき、第1係数 $c_1$ は0からその上限0.25に達した後、以後もほぼ全時間にわたってその上限に維持されている。これ

は、階段を上る間は膝関節に定常的に大きな外的トルクが付与されて歩行者の歩行が補助されていることを示している。

さらに、階段を下りるとき、第1係数 $c_1$ は0から0.1程度に上昇し、やや減少した上で0.15程度まで徐々に増大している（図中上向き矢印参照）。これは、階段を下りる間は階段を上るときよりは小さいながらも、適切な大きさの外的トルクが膝関節に付与されて歩行者の歩行が補助されていることを示している。

続いて、歩行者に付与される外的仕事量 $w_2$ が歩行条件の変動に伴いどのように変動するかについてシミュレーションを行った結果について図7及び図8を用いて説明する。図7及び図8では縦軸に歩行に要する合計仕事量、横軸に歩行者の歩行周期が表されている。また、仕事量は平地歩行時における合計仕事量（点線）で規格化されている。さらに図7では平地歩行時を基準とした合計仕事量の変動量が斜線で表され、図8では外的仕事量の変動量が斜線で表されている。

図7に示すように合計仕事量が第1～第4周期で1.0、第5周期に1.0から1.5に増大し、第6～第11周期で1.5、第12周期に1.5から2.0に増大したとする。また、第13～第17周期で2.0、第18周期に2.0から1.5に減少し、第19～第21周期で1.5、第22周期に1.5から1.0に減少し、第23周期以降は1.0と変動したとする。合計仕事量の増大は例えば平地歩行から坂道や階段を登る歩行への移行に対応し、合計仕事量の減少は例えば坂道や階段を降る歩行から平地歩行への移行に対応している。

第2係数 $c_2$ 、ゲイン係数 $G$ の組み合わせを（1.0、0.6）、（0.5、0.6）、（1.0、1.0）、（0.5、1.0）とした場合の内的仕事量及び外的仕事量の変動のシミュレーション結果をそれぞれ図8（a）、図8（b）、図8（c）、図8（d）に示す。

図8 (a) 及び図8 (c) を見ると、第2係数  $c_2$  が1.0の場合、平地歩行状態を基準とした合計仕事量の変動量(図7斜線部)の全部が補償されるように外的トルク、ひいては外的仕事量(図8 (a)、図8 (c) 斜線部)が付与されていることがわかる。また、図8 (b) 及び図8 (d) を見ると、第2係数  $c_2$  が0.5の場合、変動量(図7斜線部)の半分が補償されるように外的トルク、ひいては外的仕事量(図8 (b)、図8 (d) 斜線部)が付与されていることがわかる。

また、図8 (a) 及び図8 (c)、又は図8 (b) 及び図8 (d) を比較すると、ゲイン係数  $G$  が大きい方が関節回りに付与される外的トルク、ひいては外的仕事量(図8 (a) ~ 8 (d) 斜線部)が変動量(図7斜線部)に対応して迅速に変動するのがわかる。また、ゲイン係数  $G$  が小さい方が関節回りに付与される外的仕事量(図8 (a) ~ 8 (d) 斜線部)が変動量(図7斜線部)に対応して緩やかに変動するのがわかる。即ち、図2を用いて既に説明した通り、外的仕事量(白塗部分)  $w_2$  が階段上り時に徐々に増加していくが、ゲイン係数  $G$  が大きいほど図2①から②、②から③、③から④へと移行する速度が大きくなり、ゲイン係数  $G$  が小さいほど当該速度は小さくなる。

本歩行補助装置によれば、歩行者の脚体の関節回りの内的仕事量  $w_1$  が基準仕事量  $w_0$  に一致するように、脚体に対して関節回りの外的トルク  $T_2$  が付与される。従って、歩行者が平地歩行から階段歩行へ移行する等、歩行条件が変動し、歩行に要する脚体の仕事量が基準仕事量  $w_0$  を超過した場合、当該超過分が補助される形で脚体等に外的トルク  $T_2$  が付与される。そして、歩行条件の変動に関わらず、脚体における基準仕事量  $w_0$  に対応する内的トルク  $T_1$  の発揮による歩行を可能とすることができる。

また、脚体に付与される外的トルク  $T_2$  は、第1係数  $c_1$ 、さらには

脚体に付与される外的仕事量  $w_2$  に基づいて決定され（上式（6）～（8）参照）、当該決定の基準となる基準仕事量  $w_0$  は脚体の内的仕事量  $w_1$  に基づいて決定される（上式（5）参照）。従って、脚体の内的仕事量  $w_1$  と外的仕事量  $w_2$  とのバランスに応じた適切な外的トルク  $T_2$  を脚体に付与することができる。

さらに、ゲイン係数  $G$  を大きくすることで第1係数  $c_1$  のその目標値  $c_{TG}$  への収束速度を大きくすることができる。そして、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量  $w_0$  を超過した場合、当該超過分を迅速に解消するように外的トルク  $T_2$  を脚体に付与することができる（図8（c）、8（d）参照）。一方、ゲイン係数  $G$  を小さくすることで第1係数  $c_1$  のその目標値  $c_{TG}$  への収束速度を小さくすることができる。そして、歩行条件の変動により歩行に要する仕事量が基準仕事量  $w_0$  を超過した場合、当該超過分を時間的にゆるやかに解消するように外的トルク  $T_2$  を脚体に付与することができる（図8（a）、8（b）参照）。

また、基準仕事量  $w_0$  に対する歩行に際して必要な合計仕事量の変動分のうち、どれだけを外的トルク  $T_2$  により補償するかが第2係数  $c_2$  の大小によって決定される。即ち、第2係数  $c_2$  が大きく設定されることで、当該変動分のうち外的トルク  $T_2$  により補償される分の割合を大きくすることができる（図8（a）、8（c）参照）。一方、第2係数  $c_2$  が小さく設定されることで、当該変動分のうち外的トルク  $T_2$  により補償される分の割合を小さくすることができる（図8（b）、8（d）参照）。

なお、本実施形態では歩行者の脚体に対して股関節及び膝関節回りの外的トルクが付与されたが、他の実施形態として脚体に対して足関節回りの外的トルクが付与されてもよく、腕部の手根関節、肘関節又は肩関

節回りの外的トルクが付与されてもよい。即ち、本実施形態では外的トルクが付与される対象としての「連結体」が股関節を介して連結された歩行者の腰部と大腿部、及び膝関節を介して連結された大腿部と脛部であったが、他の実施形態として「連結体」が足関節を介して連結された脛部と足平等であってもよい。

また、本実施形態では人間の動作を補助すべくその脚体に関節回りの外的トルクが付与されたが、他の実施形態として猫や犬等の動物の動作を補助すべくその脚体に関節回りの外的トルクが付与されてもよい。これは、本発明のトルク付与システムが人間の医療、福祉、スポーツ分野等のみならず、獣医学の分野にも適用可能であることを意味する。

さらに、本実施形態では左右両脚体に外的トルクが付与されたが、他の実施形態として左右いずれか一方の脚体にのみ外的トルクが付与されてもよい。

本実施形態では歩行者の歩行を補助すべく外的トルク  $T_2$  が付与されたが、他の実施形態として歩行者が動かそうとする方向とは逆方向に外的トルク  $T_2$  が付与されてもよい。当該他の実施形態によれば、第1係数決定手段9により第1係数  $c_1$  が負に決定されることで外的トルク  $T_2$  と内的トルク  $T_1$  との符号が異なる（上式（8）参照）。そして、歩行者がかかる外的トルク  $T_2$  に反して体を動かそうとすることで歩行者の筋力強化を図ることができる。即ち、本発明のトルク付与システムがスポーツ選手等の筋力増強を図るトレーニング装置として利用される。

本実施形態では制御ユニット3が歩行補助装置のバックパック5に格納されたが、他の実施形態として制御ユニット3と、歩行補助装置とが分離され、両者間の信号送受信することで制御ユニット3における内的トルク  $T_1$  の測定や外的トルク  $T_2$  の決定、第1、第2アクチュエータ1、2の作動指示等が実行されてもよい。

また、第1係数決定手段9は、第1測定手段6により測定される内的仕事量 $w_1$ と、第2測定手段7により測定される外的仕事量 $w_2$ との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量 $w_0$ 以下のとき、第1係数 $c_1$ の下限を0と決定してもよい。これにより、脚体の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が減少して基準仕事量 $w_0$ を下回った場合、第1係数 $c_1$ が負に決定され、脚体に負の外的トルク $T_2$ が付与される事態を防止することができる。

さらに、第1係数決定手段9は、脚体の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が、基準仕事量決定手段8により決定される基準仕事量 $w_0$ 以上の所定量（0、 $1.5w_0$ 、 $2.5w_0$ 、…等）以上のとき、第1係数 $c_1$ の上限を決定してもよい。これにより、脚体の合計仕事量 $w_1 + w_2$ が増大して基準仕事量 $w_0$ を大きく上回った場合、第1係数 $c_1$ が過大に決定され、脚体に過大な外的トルク $T_2$ が付与される事態を防止することができる。

本実施形態では内的トルク $T_1$ 及び角速度 $\omega_1$ の積、外的トルク $T_2$ 及び角速度 $\omega_2$ の積が歩行者の歩行周期にわたり時間積分されることで内的仕事量 $w_1$ 、外的仕事量 $w_2$ が測定されたが（上式（3）、（4）、図3 s 3～s 5参照）、他の実施形態として当該積分時間は単位時間であってもよく、歩行者が単位距離だけ移動するのに要した時間等、異なる時間であってもよい。

本実施形態では脚体への床反力に基づき逆動力学モデルに従って膝関節、股関節の内的トルク $T_1$ 及び内的仕事量 $w_1$ が測定されたが（図5、式（2a）～（2c）参照）、他の実施形態として三次元動作解析装置によって各関節の内的トルク $T_1$ 及び内的仕事量 $w_1$ が測定されてもよい。即ち、脚体の動作がx y z方向から撮影され、各関節がどれだけの角速度 $\omega_1$ でどれだけの角度折れ曲がっているかが画像解析され、この解析結果に基づいて各関節の内的トルク $T_1$ や内的仕事量 $w_1$ が測定さ

れてもよい。

本実施形態では角度センサ a 等の測定値に基づいて歩行者の脚体への床反力が測定されたが（図 4、式（1 a）～（1 d）参照）、他の実施形態として歩行者が履くシューズに床反力センサが設けられ、これにより直接床反力が測定されてもよい。

本実施形態では関節回りの内的トルク  $T_1$  及び（内的）角速度  $\omega$  が測定され、両者の積の絶対値が時間積分されることで当該関節回りの内的仕事量  $w_1$  が測定されたが（式（3）参照）、他の実施形態として歩行者の関節に関連する筋肉収縮力及び筋肉収縮速度が測定され、両者の積に基づいて当該関節回りの内的仕事量  $w_1$  が測定されてもよく、歩行者の上体や鉛直方向に対する左右の大腿部や脛部等の角度、又は足平の移動距離が測定され、記憶手段 11 により当該測定値と内的仕事量  $w_1$  との対応データテーブルが記憶保持され、当該測定値及びデータテーブルとが用いられることで内的仕事量  $w_1$  が測定されてもよい。

本実施形態では関節回りの外的トルク  $T_2$  及び（外的）角速度  $\omega$  が測定され、両者の積の絶対値が時間積分されることで当該関節回りの外的仕事量  $w_2$  が測定されたが（式（4）参照）、他の実施形態として各アクチュエータ 1、2 の消費電力が測定され、当該消費電力に基づいて外的仕事量  $w_2$  が測定されてもよく、アクチュエータ 1、2 が油圧式の場合、油圧の変動量が測定され、当該油圧変動量の時間積分に基づいて外的仕事量  $w_2$  が測定されてもよい。

ここで、さらに本発明の他の実施形態について説明する。歩行者が階段を上る場合、歩行者の膝関節回りの外的トルク  $T_2$  及び角速度  $\omega$  の積について考える。また、膝が屈曲する方向を「負」、伸張する方向を「正」とする。

歩行者が踏み出した右足平が上段に接地したとき右膝は屈曲している。

次に、歩行者がさらに階段を上るべく下段から左足平を離反させると、歩行者の体を持ち上げるべく右膝を屈曲状態から伸張させるように「正」の内的トルク  $T_1$  が生じる。また、右膝部に取り付けられたアクチュエータ 2（図 1 参照）により右膝の伸張を補助すべく「正」の外的トルク  $T_2$  が付与される。しかるに、歩行者が下段から左足平を離反させた直後は、右膝は歩行者の体重によりやや屈曲し、角速度  $\omega$  は「負」となる。従って、内的トルク  $T_1$  と角速度  $\omega$  との積、及び外的トルク  $T_2$  と角速度  $\omega$  との積はともに「負」となる。

続いて、歩行者が左足平を離反してからある程度の時間が経過すると、歩行者の右膝は「正」の内的トルク  $T_1$  及び外的トルク  $T_2$  により屈曲状態から徐々に伸張し、角速度  $\omega$  は「正」となる。従って、内的トルク  $T_1$  と角速度  $\omega$  との積、及び外的トルク  $T_2$  と角速度  $\omega$  との積はともに「正」となる。

このように歩行条件によっては 1 の歩行周期の中にもトルクと角速度との積が「正」になったり「負」になったりする場合が考えられる。

かかる事情に対応し、当該他の実施形態では、第 1 測定手段 6、第 2 測定手段 7 により、内的、外的仕事量  $w_{1(i)}$ 、 $w_{2(i)}$  が次式（9）～（12）に従い当該積が正の場合の積分部分  $w_{1(i)}^+$ 、 $w_{2(i)}^+$  と、負の場合の積分部分  $w_{1(i)}^-$ 、 $w_{2(i)}^-$  とに分割して測定される。

$$\begin{aligned} w_{1(i)} &= w_{1(i)}^+ + w_{1(i)}^- \\ &= \int dt \cdot f^+ (T_{1(i)} \times \omega_{(i)}) \\ &\quad + \int dt \cdot f^- (T_{1(i)} \times \omega_{(i)}) \cdots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{2(i)} &= w_{2(i)}^+ + w_{2(i)}^- \\ &= \int dt \cdot f^+ (T_{2(i)} \times \omega_{(i)}) \\ &\quad + \int dt \cdot f^- (T_{2(i)} \times \omega_{(i)}) \cdots (10) \end{aligned}$$

$$f^+(x) \equiv x \quad (if \quad x \geq 0),$$

$$\begin{aligned}
 & 0 \quad (\text{if } x < 0) \cdots (11) \\
 f(x) & \equiv 0 \quad (\text{if } x \geq 0), \\
 & -x \quad (\text{if } x < 0) \cdots (12)
 \end{aligned}$$

この上で、第1係数決定手段9により $w_{1(i)}^+$ 及び $w_{2(i)}^+$ に基づき、さらに $w_{1(i)}$ 及び $w_{2(i)}$ に基づき、相違する第1係数 $c_{1(i+1)}^+$ 、 $c_{1(i+1)}$ が決定される(式(7)参照)。

そして、 $i+1$ 周期で内的トルク $T_{1(i+1)}$ 及び角速度 $\omega_{(i+1)}$ の積が「正」のとき、 $i$ 周期で当該積が「正」の状況に応じて決定された第1係数 $c_{1(i+1)}^+$ に基づいて外的トルク決定手段10によって外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される(式(8)参照)。一方、当該積が「負」のとき、 $i$ 周期で当該積が「負」の状況に応じて決定された第1係数 $c_{1(i+1)}$ に基づいて外的トルク $T_{2(i+1)}$ が決定される(同)。

従って、過去の歩行条件と一致する歩行条件に接したとき、当該過去の歩行条件に応じて予め決定された第1係数 $c_1$ に基づき、現在の外的トルク $T_2$ を決定・付与することができる。

また、前記他の実施形態では内的トルク $T_1$ 及び角速度 $\omega$ の積の正負に応じてそれぞれ第1係数 $c_1$ 、さらには外的トルク $T_2$ が決定されたが、さらに他の実施形態として当該積が3つ以上の複数区分のそれぞれに応じて第1係数 $c_1$ が決定されてもよい。例えば、当該積が任意単位をもって-2未満、-2以上+1未満、+1以上のそれぞれの場合に応じた第1係数 $c_1$ が決定されてもよい。

## 請 求 の 範 囲

1. 関節を介して相対的に回動可能に連結された連結体に対して関節回りの外的トルクを付与するシステムであって、

連結体から生じる関節回りの内的仕事量を測定する第1測定手段と、

連結体に付与される関節回りの外的仕事量を測定する第2測定手段と、

第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量に基づいて基準仕事量を決定する基準仕事量決定手段と、

第2測定手段により測定される外的仕事量に基づき、第1測定手段により測定される連結体の内的仕事量と、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差を減少するように連結体へ付与される外的トルクを決定する外的トルク決定手段と、

外的トルク決定手段により決定された外的トルクを連結体に付与する外的トルク付与手段とを備えていることを特徴とするトルク付与システム。

2. 前記連結体が股関節、膝関節及び足関節を含む歩行者の脚体であることを特徴とする請求項1記載のトルク付与システム。

3. 基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量との偏差が0となる場合の連結体の内的仕事量に対する連結体に付与される外的仕事量の比を目標値とし、時間を追って該目標値に収束するよう第1係数を逐次決定する第1係数決定手段を備え、第1測定手段が連結体の関節回りの内的トルクを測定し、

外的トルク決定手段が第1測定手段により測定される連結体の内的トルクと、第1係数決定手段により決定される第1係数との積を演算し、該演算結果を連結体に付与される外的トルクとして決定することを特徴とする請求項1又は2記載のトルク付与システム。

4. 第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量、又は第2測定手段により測定される外的仕事量に基づいて第1係数の上限又は下限を決定することを特徴とする請求項3記載のトルク付与システム。

5. 第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以下のとき、第1係数の下限を0と決定することを特徴とする請求項3記載のトルク付与システム。

6. 第1係数決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量との和である合計仕事量が、基準仕事量決定手段により決定される基準仕事量以上の所定量以上のとき、第1係数の上限を決定することを特徴とする請求項3記載のトルク付与システム。

7. 第1測定手段が連結体の関節回りの内的トルク及び角速度の積を測定し、

第1係数決定手段が第1測定手段により測定された積の区分に応じて第1係数を区分して決定し、

外的トルク決定手段が、第1測定手段により測定された積の区分が先に第1測定手段により測定された過去の積の区分に一致するとき、第1係数決定手段によって該過去の積の区分に応じた内的仕事量に基づいて先に決定された第1係数を用いて外的トルクを決定することを特徴とする請求項3記載のトルク付与システム。

8. 第1係数決定手段が第1測定手段により測定された連結体の関節回りの内的トルク及び角速度の積の正負に応じて第1係数を区分して決定することを特徴とする請求項7記載のトルク付与システム。

9. 基準仕事量決定手段が第1測定手段により測定される内的仕事量と、第2測定手段により測定される外的仕事量の和である合計仕事量を演算し、

合計仕事量と第1測定手段により測定される無負荷状態における連結体の内的仕事量との差と、連結体の内的仕事量と基準仕事量との偏差を0とする外的トルクに関する第2係数との積を演算し、

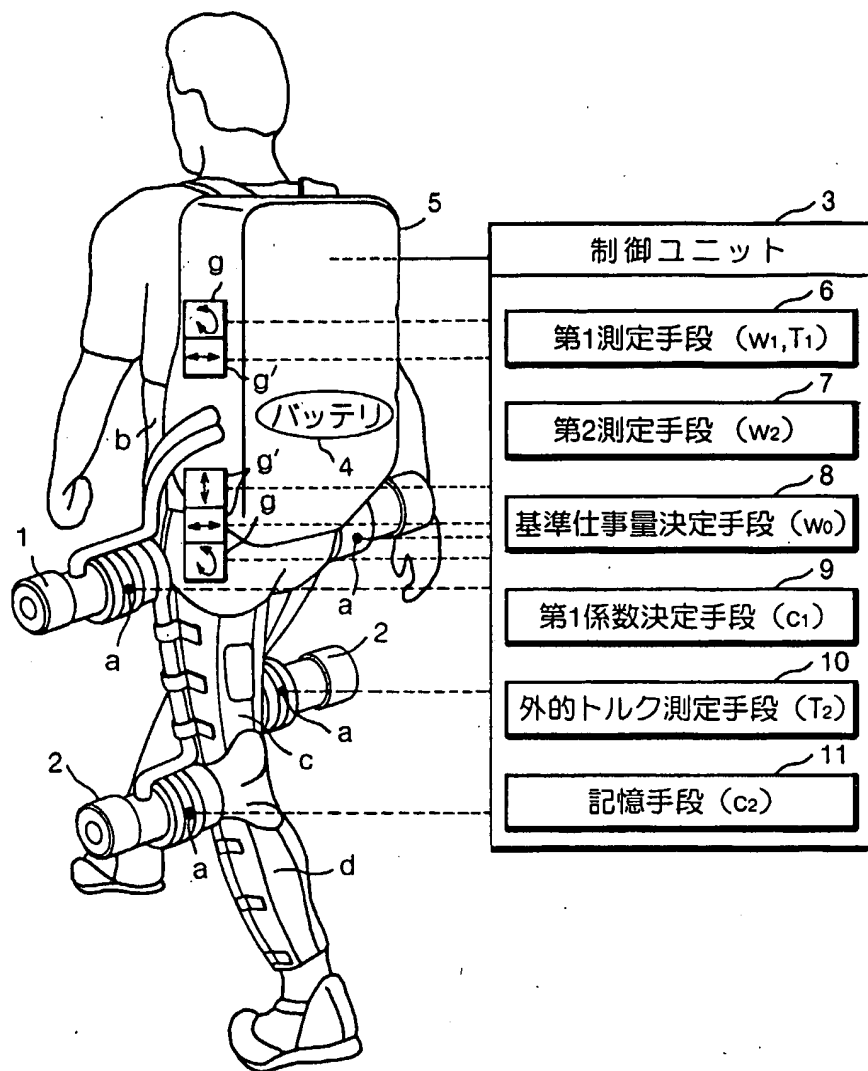
合計仕事量と、該積との差を演算し、該演算結果を基準仕事量として決定することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7又は8記載のトルク付与システム。

10. 第1及び第2測定手段が連結体の運動周期を積分時間とすることでそれぞれ内的及び外的仕事量を測定することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9記載のトルク付与システム。

11. 第1測定手段が連結体の一の関節に働く反力を測定し、測定した反力に基づき逆動力学モデルに従って連結体の各関節回りの内的トルクと外的トルクとの合計トルクを測定し、測定した合計トルクから第2測定手段により測定される外的トルクとの差を演算することで連結体の各関節回りの内的トルクを測定することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9又は10記載のトルク付与システム。

1/6

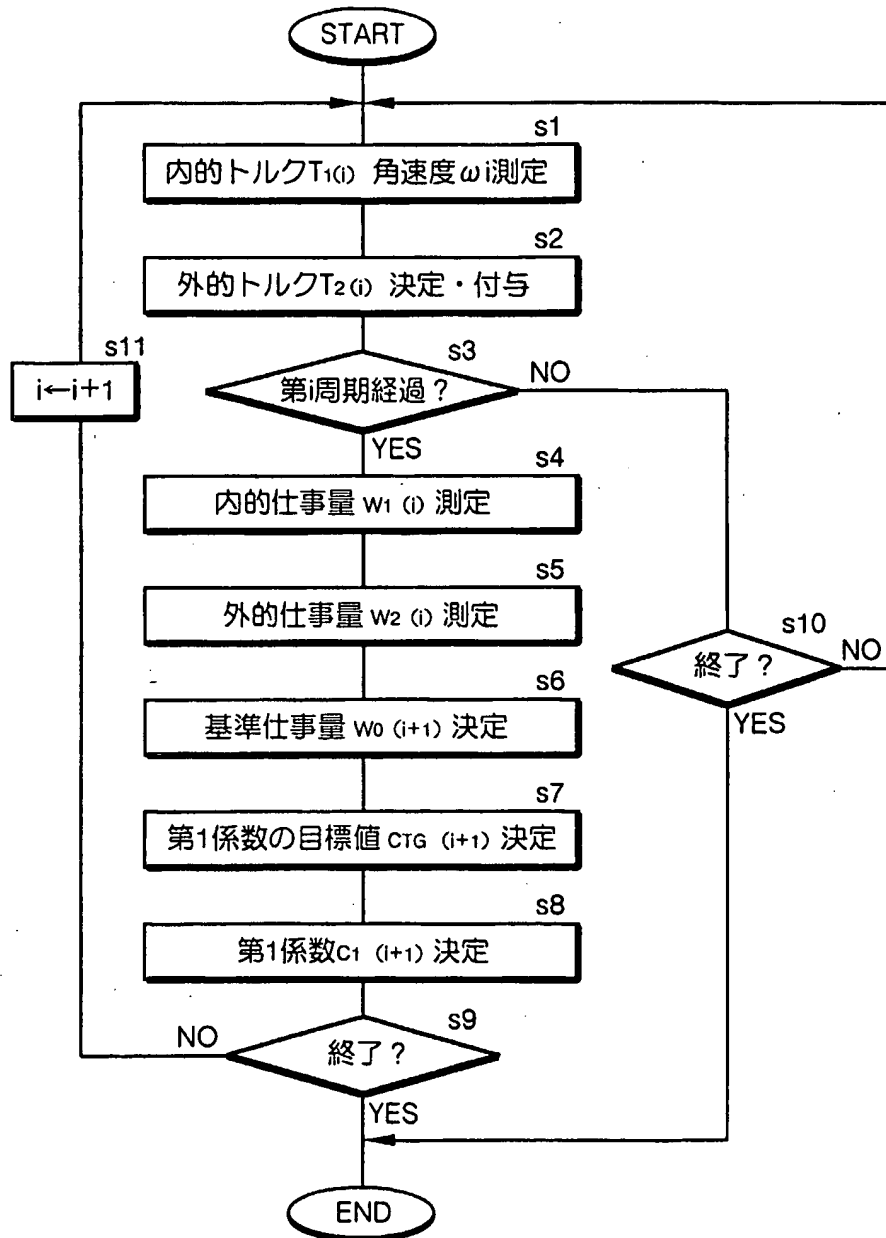
FIG. 1





3/6

FIG. 3



4/6  
FIG. 4

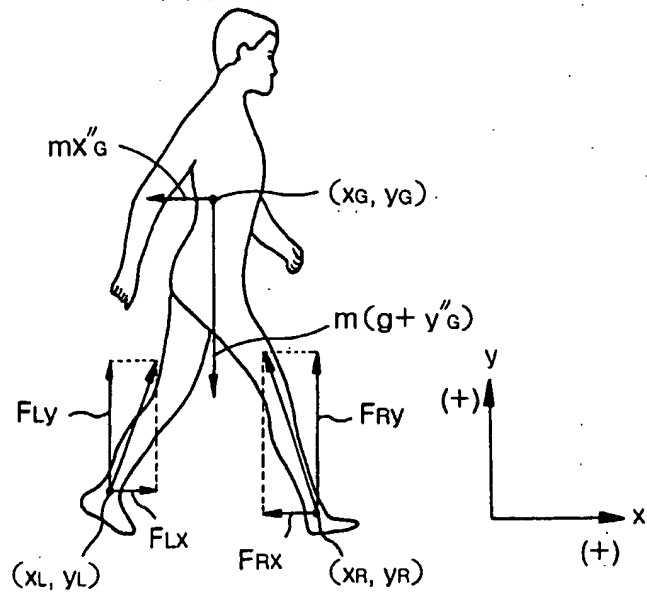
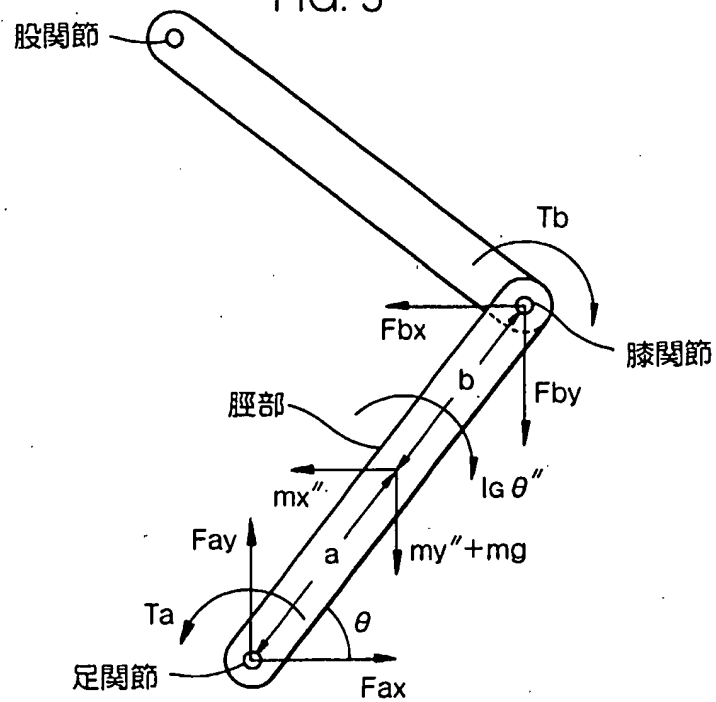


FIG. 5



5/6

FIG. 6

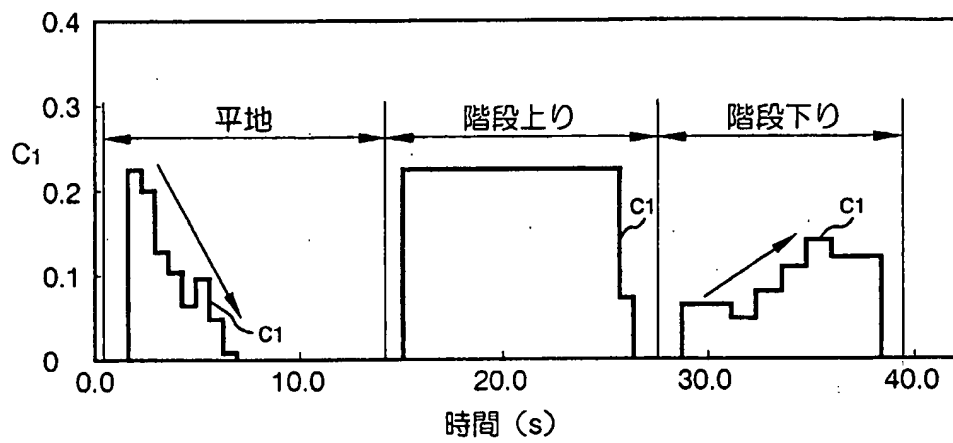
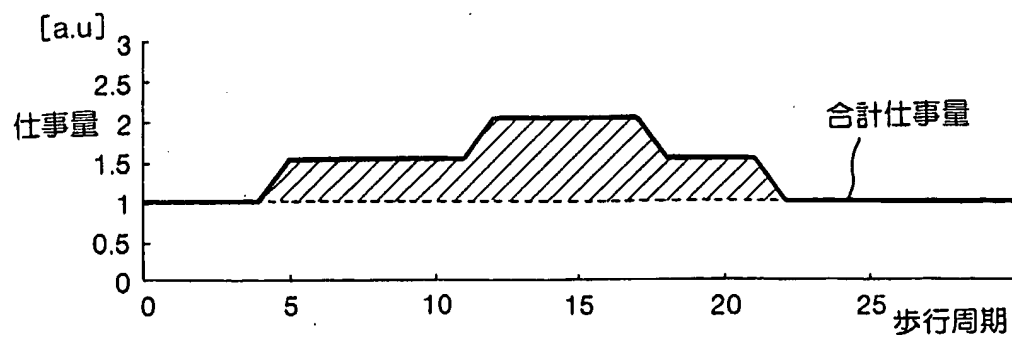


FIG. 7



6/6

FIG. 8 (a)

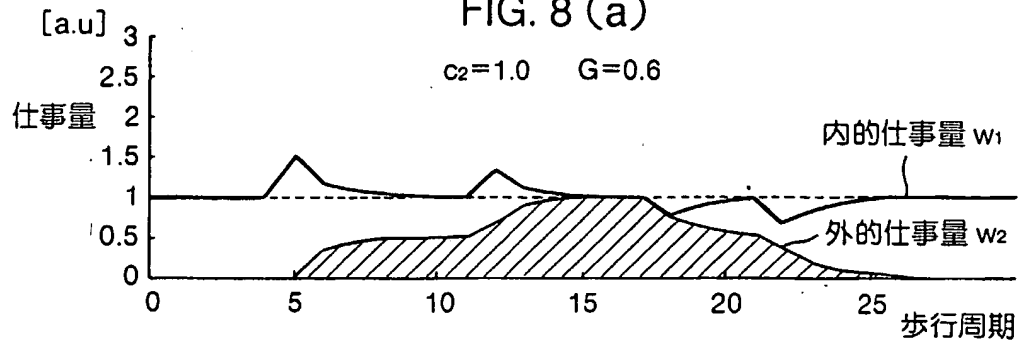


FIG. 8 (b)

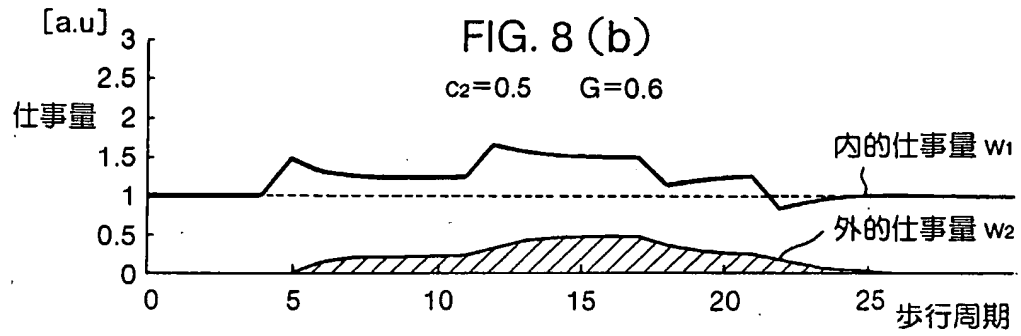


FIG. 8 (c)

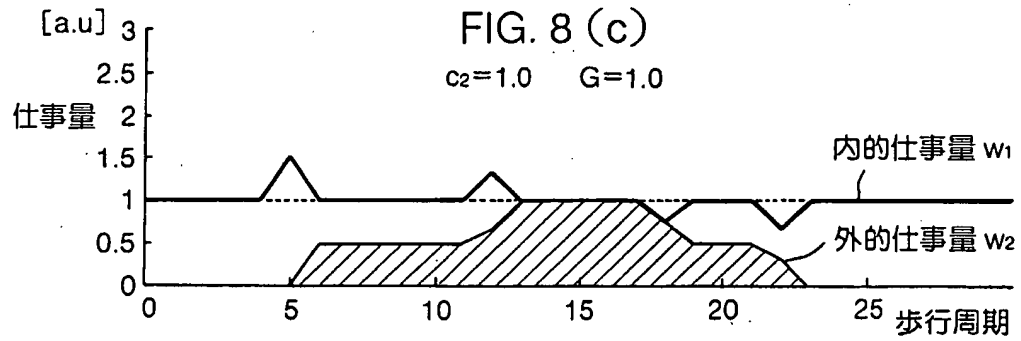
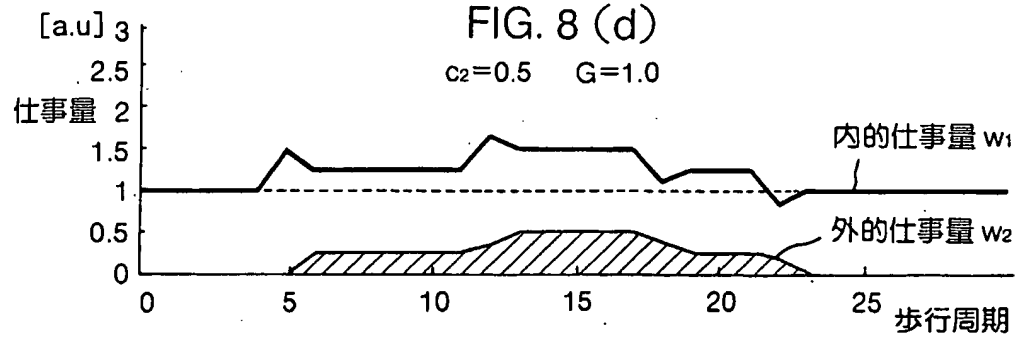


FIG. 8 (d)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/06468

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> A61H3/00, A61F2/60

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> A61H3/00, A61F2/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-107213 A (Shigeki TOYAMA), 18 April, 2000 (18.04.00), Par. Nos. [0015] to [0017]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-11
A	JP 7-163607 A (Kabushiki Kaisha R&D), 27 June, 1995 (27.06.95), Par. Nos. [0009] to [0013]; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-11
A	JP 2000-166997 A (NSK Ltd.), 20 June, 2000 (20.06.00), Par. Nos. [0006] to [0044]; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
01 October, 2002 (01.10.02)

Date of mailing of the international search report  
15 October, 2002 (15.10.02)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/06468

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 58-163364 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 28 September, 1983 (28.09.83), Page 2, upper left column, line 8 to lower right column, line 8; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-11

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1998)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> A61H 3/00, A61F 2/60		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> A61H 3/00, A61F 2/60		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2002年 日本国登録実用新案公報 1994-2002年 日本国実用新案登録公報 1996-2002年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-107213 A (遠山 茂樹) 2000. 04. 18 段落番号【0015】-【0017】、第1-4図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 7-163607 A (株式会社東京アールアンドデー) 1995. 06. 27 段落番号【0009】-【0013】、第1-5図 (ファミリーなし)	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 01. 10. 02	国際調査報告の発送日 15.10.02	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 一ノ瀬 薫	3E 9722
	電話番号 03-3581-1101	内線 3346

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-166997 A (日本精工株式会社) 2000.06.20 段落番号【0006】-【0044】, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 58-163364 A (工業技術院長) 1983.09.28 第2頁左上欄第8行-右下欄第8行, 第1-5図 (ファミリーなし)	1-11